

rounding rocks. These changes occur as a result of excavation or its termination, appearance of rheological features of rocks, etc. A consistent calculation of various combinations of these properties and characteristics allows determining the criticality of the certain indices of computational model that substantially affects the quality of the experiments.

Findings. The characteristics of the influence of the mining processes and objects description accuracy for the designing of support structures used for maintenance of development workings in the Western Donbass mines have been received.

Originality. An algorithm of the influence of variable non-linear mechanical and geometrical characteristics on

the stress-strain state of the ‘support – rock strata’ system has been obtained. The mathematical description of the range of possible feasible solutions of problems of the class has been created.

Practical value. Application of the described approaches enhances the adequacy of computer simulation which determines the optimum characteristics of development workings in the Western Donbass mines.

Keywords: *development, rock massif, anchor, modeling object, nonlinear characteristics, numerical method*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Бондаренком. Дата надходження рукопису 28.11.11.

УДК 622.271

А.А. Бондаренко, канд. техн. наук, доц.,
Е.С. Запара, канд. техн. наук, доц.

Государственное высшее учебное заведение
„Национальный горный университет“, г. Днепропетровск,
Украина, e-mail: zaparaec@rambler.ru

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ВСАСЫВАНИЯ ПУЛЬПЫ В ПОДВОДНОМ ЗАБОЕ

А.А. Bondarenko, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
Ye.S. Zapara, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

State Higher Educational Institution “National Mining University”,
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: zaparaec@rambler.ru

LAWS OF DETERMINATION OF FINE MATERIALS SUCTION LIMITS IN SUBMARINE SUCTION DREDGE FACE

Цель. Установление закономерностей для определения границ всасывания пульпы и скорости всасывающего потока на границе зоны всасывания подводного забоя, при которой частицы грунта находятся в равновесии.

Методика. Применена теория переноса единичных частиц зернистого материала двухфазным гетерогенным потоком в пограничной области между забоем осадочных отложений и водной средой. Рассмотрен поток пульпы, направленный от забоя к всасывающему патрубку землесосного снаряда, сформированный при движении жидкости из неограниченного пространства.

Результаты. В результате рассмотрения процесса всасывания пульпы единичным всасывающим патрубком в подводном забое, получена аналитическая зависимость для определения расстояния от всасывающего патрубка до сечения, в котором скорость всасывания равна скорости, при которой частицы находятся в равновесном состоянии. Для определения границ зоны всасывания подводного забоя составлено условие равновесного состояния частицы, получен вид записи действующих на нее сил, записано дифференциальное уравнение, описывающее движение частицы, находящейся на поверхности зоны всасывания. В результате решения дифференциального уравнения получена зависимость для определения скорости всасывающего потока на границе зоны всасывания подводного забоя, при которой частица, под действием силы тяжести, Архимеда и скоростного напора, находится в равновесии.

Научная новизна. Разработана математическая модель движения частицы по образующей зоны всасывания подводного забоя. Подводный забой землесосного снаряда впервые рассматривается как область, ограниченная зоной всасывания взвешенного грунта.

Практическая значимость. Получены аналитические зависимости для определения скорости всасывающего потока на границе зоны всасывания подводного забоя, при которой обеспечивается равновесное состояние частицы, а также радиуса всасывания пульпы. Зависимости позволяют установить границы области всасывания пульпы в подводном забое, а значит определить объем добычи грунта с одного установа исполнительного органа земснаряда.

Ключевые слова: *земснаряд, подводный забой, размыв, всасывание, скорость всасывания, радиус всасывания*

Постановка проблемы. Определение границ всасывания пульпы в подводном забое землесосного снаряда является важной задачей, позволяющей установить рациональные параметры системы подготовки грунта и приготовления пульпы к всасыванию и даль-

нейшему транспортированию. Выбор рациональных параметров системы размыва грунта в подводном забое земснаряда позволяет рационализировать процесс добычи грунта, то есть увеличить производительность всасывания путем увеличения мощности системы размыва или минимизировать потери грунта в неограниченное пространство путем снижения ее мощности.

Рационализация процесса добычи грунта позволяет минимизировать капитальные и эксплуатационные расходы, что приводит к снижению стоимости разработки единицы товарной продукции.

Анализ исследований. Известны три режима всасывания несвязного грунта при подводной добыче: поверхностный, глубинный и смешанный [1, 2]. При разработке несвязных песков с глубин до 18 м актуально применение традиционных добычных комплексов в составе плавучих землесосных земснарядов и рефулерных пульпопроводов. При этом может быть обеспечен поверхностный и смешанный режим всасывания грунта при средней объемной концентрации пульпы 10...30%.

При поверхностном способе всасывания разработка грунта ведется при установке всасывающего патрубка непосредственно на поверхность грунта. Процесс всасывания протекает с образованием изменяющейся щели всасывания, т.е. изменяющегося расстояния между всасывающим наконечником и забоем (рис. 1). Поверхностный режим всасывания характеризуется, в основном, скоростью движения потока пульпы в щели всасывания, определяющей интенсивность размыва и захвата всасываемым потоком частиц грунта.

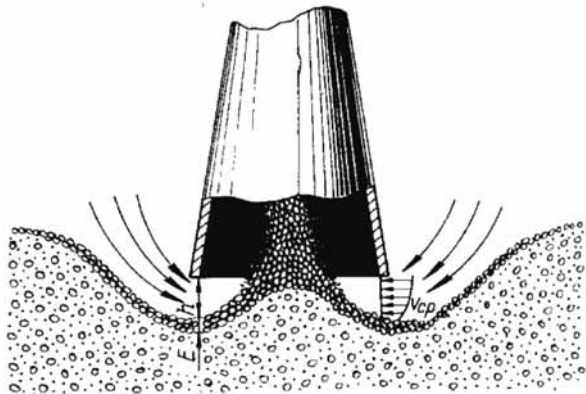


Рис. 1. Схема всасывания неразмытого грунта в подводном забое

Свободное всасывание предварительно неразмытого грунта представляет собой отделение частиц грунта от массива и перенос их к всасывающему наконечнику, осуществляющийся потоком воды, перемещающимся по поверхности забоя под действием разности давлений на поверхности воды в водоеме и на входе в рабочее колесо грунтового насоса. То есть, свободное всасывание частиц грунта в составе пульпы в подводном забое, по своей физической природе, представляет процесс эрозионного размыва и переноса [1, 2]. Основным ограничивающим фактором такого процесса является размывающая скорость грунта.

Иначе происходит процесс всасывания подготовленного, то есть размытого и взвешенного грунта. Свободное всасывание предварительно размытого грунта представляет собой процесс всасывания частиц грунта и перенос их в составе пульпы к всасывающему наконечнику под действием разности дав-

лений. Основным ограничивающим фактором такого процесса является гидравлическая крупность характерных частиц грунта.

Известно, что всасывающая труба, при свободном всасывании чистой воды, представляет собой в гидравлическом отношении сток, поле которого является одним из видов потенциального (безвихревого) движения [1, 2]. Область, прилегающую к всасывающему наконечнику, называют зоной всасывания. Зона всасывания может иметь форму сферы как при всасывании чистой воды из неограниченного пространства вертикально расположенной трубой, так и более сложное пространственное очертание во всех других случаях.

Пользуясь результатами ранее выполненных работ, а также, базирясь на собственных наблюдениях, процесс всасывания грунта в подводном забое можно представить в виде схемы (рис. 2) [2, 3].

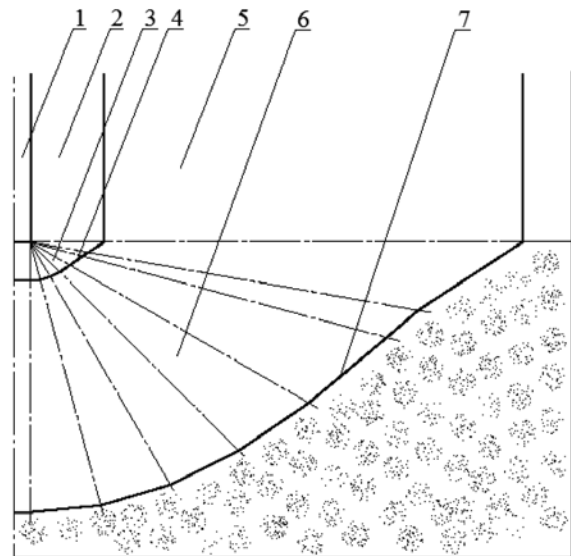


Рис. 2. Схема процесса всасывания грунта в подводном забое: 1 – всасывающий патрубок; 2 – область осаждения зоны размыва; 3 – зона размыва при всасывании грунта; 4 – граница зоны размыва; 5 – область осаждения зоны всасывания взвешенного грунта; 6 – зона всасывания взвешенного грунта; 7 – граница зоны всасывания взвешенного грунта

Процесс всасывания подготовленного и неподготовленного грунта разделен на такие области: область осаждения зоны размыва, зона размыва при всасывании грунта, граница зоны размыва, область осаждения зоны всасывания взвешенного грунта, зона всасывания взвешенного грунта, граница зоны всасывания взвешенного грунта.

Постановка задачи исследований. Определение границ зоны всасывания взвешенного грунта является важной научно-технической задачей, решение которой позволит рационализировать процессы подготовки грунта в подводном забое к их разработке.

Расстояние от сечения всасывающего патрубка до границы зоны всасывания рассматриваемых частиц, перемещающихся со скоростью U_{cp} в подводном забое, измеренное вдоль образующей зоны всасывания, характеризуемой углом наклона ψ , назовем радиусом всасывания частицы в подводном забое.

Определение значения радиуса всасывания частиц позволит решить задачу построения границ зоны всасывания для частиц различной плотности и крупно-

сти, то есть построения поля всасывания пульпы в подводном забое.

Изложение основного материала исследований. Рассмотрим процесс всасывания пульпы единичным всасывающим патрубком в подводном забое. Приняв за основу неразрывность потока несжимаемой жидкости, всасываемой из неограниченного пространства, предположим, что объем воды, всасываемый патрубком за единицу времени, равен объему воды, проходящему через шаровое сечение, удаленное от всасывающего патрубка на расстояние R (рис. 3).

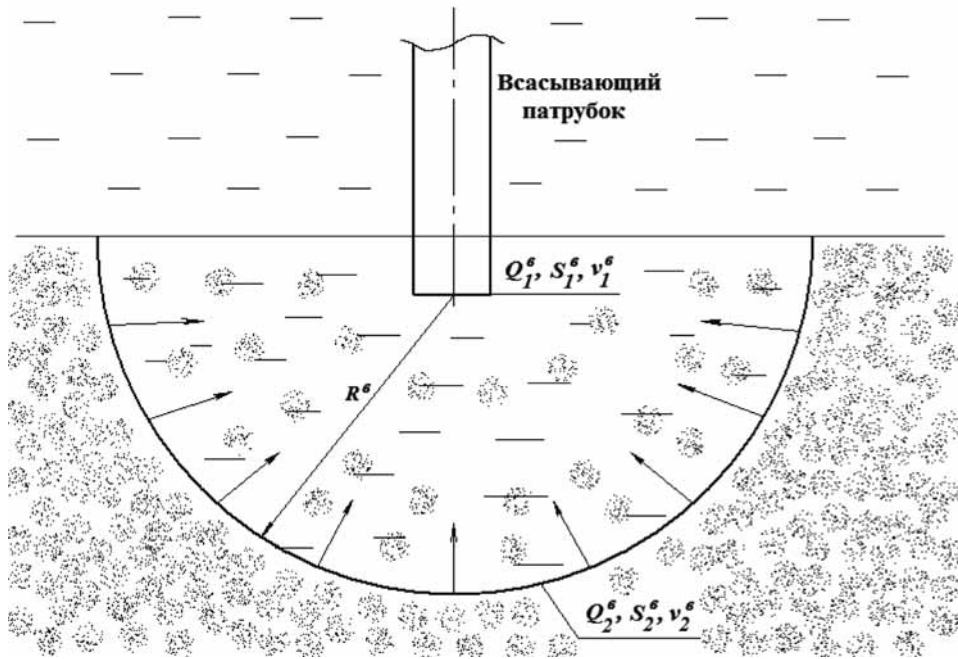


Рис. 3. Схема всасывания взвешенной пульпы в подводном забое

Для решения задачи введем следующие допущения и обозначения:

сечение 2 представляет собой шаровой сектор в виде половины шара;

Q_1 – расход пульпы через всасывающий патрубок, m^3/c ;

Q_2 – расход пульпы через рассматриваемое сечение, m^3/c ;

S_1 – площадь сечения всасывающего патрубка, m^2 ;

S_2 – площадь рассматриваемого сечения, m^2 ;

v_1 – скорость всасывания пульпы в трубке, m/c ;

v_2 – скорость течения пульпы в рассматриваемом сечении, m/c ;

R – расстояние от всасывающего патрубка до рассматриваемого сечения, m .

Таким образом, известно, что

$$Q_1 = Q_2 = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2.$$

Площадь поверхности сечения 2 имеет вид

$$S_2 = 2\pi(R)^2.$$

Таким образом, зависимость для определения расстояния R до сечения, в котором скорость всасывания равна скорости всасывающего потока U_{cp} , при котором частицы крупностью d находятся в равновесном состоянии, примет вид

$$R_{rp} = \sqrt{\frac{Q_1}{2\pi \cdot U_{cp}}}. \tag{1}$$

Область, ограниченная расстоянием R_{rp} , названа зоной всасывания взвешенного грунта [2].

Определим условия, необходимые для равновесного состояния частицы, при воздействии на нее подъемной силы F_n , под влиянием скоростного напора в полярных координатах и силы тяжести с учетом Архимедовой силы, в соответствии с расчетной схемой (рис. 4) [3].

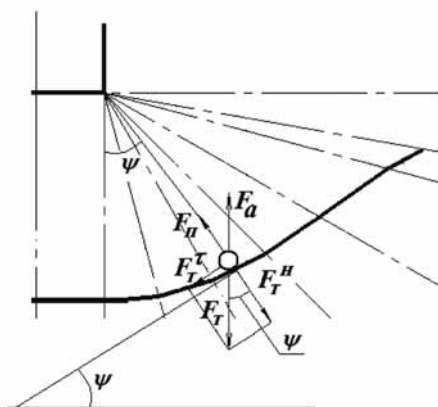


Рис. 4. Расчетная схема всасывания грунта в подводном забое

Упростим описание процесса путем введения следующих допущений:

а) частицы всасываемого грунта представляют собой шары равных размеров $d_1 = d_2 = d_n = \dots = d_{cp}$. Диаметр частиц принимаем из диапазона $d_{cp} = 0,16 \dots 5$ мм;

б) плотность жидкости, действующей на частицы грунта, равна плотности псевдопульпы ρ_n с кинематической псевдовязкостью ν_n .

В соответствии с диаграммой Релея, диапазон принятых размеров частиц соответствует переходной области, которая характеризуется влиянием на частицы вязкостного и динамического сопротивлений.

Переходная область характеризует наличие, при свободном падении единичных зерен в неограниченной спокойной среде, действия сил:

- сила веса, с учетом силы Архимеда

$$F_T = (\rho_{ск} - \rho_n) \frac{\pi d^3}{6} g, \text{ Н,}$$

где $\rho_{ск}$ – плотность скелета грунта, кг/м^3 ; d – диаметр частицы, м; ρ_n – плотность среды (псевдопульпы), кг/м^3 ;

- сила сопротивления среды движению частицы

$$P = \theta U_{oc}^2 d^2 \rho_n, \text{ Н,}$$

где θ – коэффициент сопротивления $\theta = f(\text{Re})$, число Рейнольдса представлено зависимостью

$$\text{Re} = \frac{U_0 d}{\nu_n};$$

- подъемная сила

$$F_n = C_\phi \frac{\pi d^2}{4} \rho_n \frac{U_{ac}^2}{2}, \text{ Н,}$$

где C_ϕ – коэффициент лобового сопротивления частицы; U_{ac} – скорость всасывающего потока жидкости, действующего на частицу, м/с.

Нормальная составляющая силы веса, приведенная к полярным координатам (рис. 4), равна

$$F_T^H = (\rho_{ск} - \rho_n) \frac{\pi d^3}{6} g \cos \psi, \text{ Н,}$$

где ψ – угол наклона образующей зоны всасывания.

С учетом сил, вид записи которых приведен выше, общее дифференциальное уравнение движения единичной частицы грунта по границе зоны всасывания подводного забоя примет вид

$$m \frac{dU}{dt} = C_\phi \frac{\pi d^2}{4} \rho_n \frac{U_{cp}^2}{2} - (\rho_{ск} - \rho_n) \frac{\pi d^3}{6} g \cos \psi \quad (2)$$

Для определения границ зоны всасывания подводного забоя необходимо рассматривать равновесное состояние частицы, которое характеризуется нулевой скоростью, а значит и ускорением, то есть $\frac{dU}{dt} = 0$. Таким образом, уравнение равновесия частицы примет вид

$$C_\phi \frac{\pi d^2}{4} \rho_n \frac{U_{cp}^2}{2} - (\rho_{ск} - \rho_n) \frac{\pi d^3}{6} g \cos \psi = 0. \quad (3)$$

Упростим выражение (3) и получим зависимость для определения скорости всасывающего потока на границе зоны всасывания подводного забоя U_{cp} , при котором частица под действием силы тяжести, Архимеда и скоростного напора находится в равновесии. Таким образом, зависимость для определения скорости всасывающего потока U_{cp} на наклонной образующей зоны всасывания примет вид

$$U_{cp} = \sqrt{\frac{8g}{6} \left[\frac{d}{C_\phi} \left(\frac{\rho_{ск}}{\rho_n} - 1 \right) \cos \psi \right]} \quad (4)$$

или, при $g = 9,81$, м/с^2

$$U_{cp} = 3,62 \sqrt{\frac{d}{C_\phi} \left(\frac{\rho_{ск}}{\rho_n} - 1 \right) \cos \psi}. \quad (5)$$

Полученная зависимость позволяет определить скорость всасывающего потока U_{cp} , при котором частицы крупностью d находятся в равновесном состоянии при различных углах наклона ψ образующей зоны всасывания.

Анализируя полученную зависимость, для определения радиуса всасывания грунта в подводном забое R_{cp} характерно, что при подстановке размывающей скорости $U_p^{\beta \gamma_0}$ в зависимость (1), в качестве граничной скорости потока в сечении 2, можно уста-

новить расстояние R от всасывающего патрубка до зоны предварительно не отделенного от массива, т.е. неразмываемого и невзвешенного грунта

$$R_p = \sqrt{\frac{Q_1}{2\pi \cdot U_p^{\beta_{\gamma_0}}}} \quad (6)$$

Ранее область, ограниченная расстоянием R_p , названа зоной размыва при всасывании грунта [2].

Вывод. Полученные аналитические зависимости для определения радиуса всасывания частицы в подводном забое позволят установить значения реальных границ зоны всасывания взвешенного грунта и, как следствие, выполнить построение поля всасывания пульпы для крупности частиц в пределах $d = 0,15 \dots 5$ мм. Это позволит рационализировать процесс добычи грунта путем минимизации капитальных затрат и эксплуатационных расходов.

Список литературы / References

1. Добрецов В.Б. Мировой океан и континентальные водоемы: минеральные ресурсы, освоение, экология / Добрецов В.Б., Рогалев В.А., Опришко Д.С. – С.Пб.: Международная академия наук экологии, безопасности человека и природы, 2007. – 796 с.

Dobretsov, V.B., Rogalev, V.A. and Opryshko, D.S. (2007), *Mirovoy okean i kontinentalnye vodoemy: mineralnye resursy, osvoenie, ekologiya* [World Ocean and Continental Reservoirs: Mineral Resources, Development, Ecology], International academy of ecology sciences, human and nature safety, St. Petersburg, Russia.

2. Бондаренко А.А. Физическое моделирование процесса всасывания грунта в подводном забое земснаряда / Бондаренко А.А. / Сборник научных трудов НГУ – Днепропетровск, 2012. – №38 – Том 1. – С. 146–151.

Bondarenko, A.A. (2012). "Physical simulation of the soil suction process in the submarine suction dredge face", *Collection of NMU scientific works*, Vol. 1 no.38, pp. 146–151.

3. Бондаренко А.А. Математическое моделирование процесса всасывания грунта в подводном забое земснаряда / Бондаренко А.А. / *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2012. – №3. – С. 76–79.

Bondarenko, A.A. (2012). "Mathematical simulation of the soil suction process in the submarine suction dredge face", *Metallurgical and mining industry*, no.3, pp. 76–79.

Мета. Встановлення закономірностей для отримання меж усмоктування пульпи та швидкості усмоктуючого потоку на межі зони усмоктування підводного вибою, при якій частинки ґрунту знаходяться в рівновазі.

Методика. Застосовано теорію переносу одиничних часток зернистого матеріалу двофазним гетерогенним потоком у пограничній області між вибоєм осадкових відкладень і водним середовищем. Розглянуто потік пульпи, спрямований від вибою до усмоктувального патрубка землесосного снаряда, сформований при русі рідини із необмеженого простору.

Результати. У результаті розгляду процесу усмоктування пульпи усмоктувальним патрубком у підводному вибої, отримано аналітичну залежність для встановлення відстані від усмоктувального патрубка до розрізу, в якому швидкість усмоктування дорівнює швидкості, при якій частинки ґрунту знаходяться в рівновазі. Для встановлення межі зони усмоктування підводного вибою складено умову рівноважного стану частинки, отримано вид запису сил, що діють на неї, записане диференціальне рівняння, що описує рух частинки, яка знаходиться на поверхні зони усмоктування. У результаті рішення диференціального рівняння отримано залежність для розрахунку швидкості усмоктувального потоку на межі зони усмоктування підводного вибою, при якій частинка, під дією сил тяжіння, Архімеда й швидкісного напору, знаходиться в рівновазі.

Наукова новизна. Розроблено математичну модель руху частинки ґрунту по утворюючій зони усмоктування підводного вибою. Підводний вибій землесосного снаряда вперше розглянуто як область, що обмежена областю усмоктування раніше розрихленого ґрунту.

Практична значимість. Отримано аналітичні залежності для розрахунку швидкості усмоктувального потоку на кордонах зони усмоктування підводного вибою, при яких забезпечується рівновага частинки, а також радіуса усмоктування пульпи. Залежності дозволяють встановити кордони області усмоктування пульпи в підводному вибої, а значить розрахувати об'єм видобутку ґрунту з одного установившого органу земснаряда.

Ключові слова: земснаряд, підводний вибій, розмив, усмоктування, швидкість усмоктування, радіус усмоктування

Purpose. To establish laws of determination of the pulp suction scope and the suction stream speed at the suction area border of the submarine face for soil particles to be in equilibrium.

Methodology. The theory of grainy material single particles transfer by a duplex heterogeneous stream in boundary area between the submarine face and water environment has been applied. The pulp stream directed from the submarine face to the hydraulic dredger suction union and formed by motion of liquid from unlimited space has been considered.

Findings. The process of pulp suction by the suction union in a submarine face has been considered. Analytical dependence for determining the distance from the suction union to the section, in which suction speed is equal to speed, at which particles are in equilibrium, has been established. For determination of submarine face suction area scope a particle equilibrium state condition has been made. The record describing forces affecting a particle has been obtained. The differential equation describing motion of a soil particle being in the area of suction has been worked out. As a result of differential equalization solution the dependence for determination of suction stream speed on the border of submarine face suction area has been got. Thus soil particle,

under the action of gravity, Archimedes and speed pressure stays in equilibrium.

Originality. The mathematical model of a soil particle motion along the generatrix of submarine face suction area has been developed. The submarine face of the hydraulic dredger has been for the first time examined as an area limited by the suction area of the previously distended soil.

Practical value. Analytical dependences for determination of suction stream speed on the border of submarine face suction area allowing a particle to stay in

equilibrium have been got. Analytical dependence for determination of pulp suction radius has been obtained. Dependences allow setting the scope of pulp suction area in the submarine face, and defining the volume of soil mined out by the hydraulic dredger.

Keywords: *hydraulic dredger, submarine face, washing out, suction, suction speed, suction radius*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Самусею. Дата надходження рукопису 26.02.12.

УДК 622.68: 622.625.5

Л.Н. Ширин, д-р. техн. наук, проф.,
А.В. Денищенко, канд. техн. наук, доц.,
О.О. Юрченко, Д.В. Михалев

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина,
e-mail: urchenkooo@mail.com

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ КАНАТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

L.N. Shirin, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
A.V. Denishchenko, Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Professor,
O.O. Yurchenko, D.V. Mikhalev

State Higher Educational Institution “National Mining University”,
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: urchenkooo@mail.com

METHODOLOGY FOR DETERMINATION OF ROPE VEHICLES ENERGY CONSUMPTION

Цель. Разработка методики определения энергетических затрат канатных транспортных средств для расширения области эффективного их применения в условиях горного производства.

Методика. Решение поставленных в работе задач выполнялось комплексно путем анализа существующих подходов к определению энергозатрат на открытых горных работах, обобщения возможных схем канатной откатки грузов, выбора единого критерия оценки и составления алгоритма расчета расхода энергии на перемещение грузов.

Результаты. В работе обобщены и систематизированы существующие подходы к оценке энергетической эффективности транспортных систем открытых горных работ и выделены наиболее значимые из факторов, оказывающих на нее влияние.

Разработан алгоритм определения удельной энергоемкости процесса транспортирования канатными системами и установлены зависимости расхода энергии от угла наклона выработки для рекомендуемых транспортно-технологических схем доставки грузов.

Научная новизна. Впервые получены зависимости энергозатрат установок канатного транспорта от угла наклона выработки в условиях открытых горных работ и на основании их анализа предложены рациональные транспортно-технологические схемы.

Практическая значимость. Разработаны рекомендации по внедрению канатных напочвенных дорог на открытых горных работах, позволяющих снизить на 30% энергопотребление в системах транспорта.

Ключевые слова: *оценка эффективности, энергоемкость, канатная напочвенная дорога, энергетический метод, энергетический критерий*

Постановка проблемы. Транспортирование горной массы является самым энергоемким и дорогостоящим процессом на открытых горных работах. На действующих карьерах наибольшее распространение получил автомобильный транспорт, серьезными недостатками которого являются высокие энергоемкость и стоимость транспортирования. В работах [1, 2] доказано, что с понижением глубины карьеров автотранспорт целесообразно использовать только в качестве сборочного, когда в полной мере реализуются такие достоинства этого вида транспорта как мобильность, автономность, маневренность и др.

Однако, с позиции энергопотребления, для подъема горной массы на поверхность карьера высокой эффективностью обладают канатные скиповые подъемники [3, 4]. Возможность применения канатного транспорта на открытых горных работах также рассмотрена в работе [5], где дана оценка целесообразности применения канатных напочвенных дорог (ДКН), которые нашли широкое применение на угольных шахтах Украины и за рубежом для перевозки материалов, оборудования и людей.

Цель работы – разработка методики определения энергетических затрат канатных транспортных средств для расширения области эффективного их применения в условиях горного производства.